

Hong Kong Student
 Science Project
Competition 2002

Anti-oscillation System

*presented by
TWGHs Wong Fut Nam College*

Introduction

- 現時一般汽車的防震系統
 - 油壓式防震系統
 - 短處
 - 彈簧太硬(spring too hard) → 整架車被升起
 - 彈簧太軟(spring too soft) → 彈簧不停震動
 - 油壓只能提供固定數值的阻尼力(damping force) → 只能夠在某一個數值的重量時才能做到臨界阻尼(critical damp)的效果

● Our Aim

- 當汽車遇上阻礙物，彈簧被壓縮時，只抑壓(damp)彈簧向下(downward)的移動，而對彈簧的上移(upward motion)不作任何反應。
 - [即是只在彈簧的壓縮(compression)或延伸(extension)正在減少時才進行阻尼(damping)]
- 按著不同的汽車重量去調較阻尼力(damping force) → 在任何重量下都能做到臨界阻尼(critical damp)

Critical Damping

- 彈簧受外力 \mathbf{F} 作用時，在一定範圍內，往往滿足

$$\mathbf{F}(x) = -k \mathbf{x}$$

- (k: spring constant; x: change in length of the spring)

- 以下考慮一質量為 m 的物體，垂直懸掛於彈簧下端的運動情形：受一阻力 $\mathbf{F}_b = -b \mathbf{v}$

$$\mathbf{F} = m\mathbf{a}.$$

- (b: damping constant; v: velocity)

- 物體所受合力 $\mathbf{F}_{\text{net}} = m\mathbf{a} - k\mathbf{x} - b\mathbf{v}$

$$\Rightarrow -kx - b \frac{dx}{dt} = m \frac{d^2x}{dt^2}.$$

$$F = ma = -kx - bv$$

$$\Rightarrow m \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + kx = 0.$$

- 若令 $b=0$ 則為彈簧上下簡諧運動(simple harmonic motion)
- 若令 $b>0$ 則為阻尼振盪(damped oscillation)的情形
- 改變 b 值可得
- 過阻尼(over damping), 臨界阻尼(critical damping)與 阻尼不足(under damping)情形

For the critical damping, the solution of above equation will be

$$x(t) = x_0 e^{-\frac{b}{2m}t} \left[x_0 + \left(v_0 + \frac{b}{2m} x_0 \right) t \right] \dots \text{Eqt (1)}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m} - \left(\frac{b}{2m} \right)^2} \dots \text{Eqt(2)}$$

where

t = time

x_0 = the initial position of the wheel

$x(t)$ = the position of the wheel with reference at the equilibrium position

v_0 = the initial velocity of the wheel (vertical motion along the spring)

m = mass of the car (above the spring)

k = spring constant

Put $\omega = 0$ into Eqt(2), we have $b = 2\sqrt{km}$.

Our Project

- 汽車遇到阻礙物(obstacle) → 彈簧被壓縮
 - 在壓縮完結前，阻尼裝置器(damping device)是不會被開動的
- 跟據偵測所得汽車的重量和垂直速度(vertical velocity) → 經電腦運算過後，將產生一個適當的電流(current)到阻尼器(damping device)那裏
- $\text{Damping force} = bv$
 - 每次將b的數值適當調節 → 達到臨界阻尼(critical damp)的效果

Motion Detector

- 電腦滑鼠(mouse)的Y-軸滑輪(y-axis wheel) → 偵測汽車的垂直移動(vertical motion)
- 當汽車避震器上下震盪(oscillation)時，滑鼠滑輪也會隨著轉動
- 按滑輪轉動的次數及時間距離(time intervals)，便可計算出
 - 車身的垂直移置(vertical displacement)
 - 車身的垂直速度(vertical velocity)
- 避震器的擺動(oscillation) 被轉化爲一種二進位信號(binary motion signal)以輸入電腦

Computer Program

- 功能：跟據所取得有關彈簧移動(spring motion)的數據，計算並輸出電流(current)，從而控制對彈簧(spring)的阻尼力(damping force)
- 當彈簧(spring)完成壓縮(compression)過程，正常回到平衡點(equilibrium)的時候 → 電腦程式便會開動阻尼裝置(damping device)以抑壓彈簧的運動(spring motion)
 - 彈簧(spring)剛好回到自己原先的平衡點(equilibrium)而不作任何更多的振盪(further oscillation) → 達到臨界阻尼(critical damping)的效果

- 阻尼力(damping force)是與彈簧的垂直速度(vertical velocity)與及阻尼系數(damping constant) b 成正比的，從取得以下的數據
 - 彈簧的壓縮幅度 → 汽車的垂直速度(vertical velocity)
 - 車身的重量並將 b 調較作臨界阻尼(critical damping) → 控制所產生的阻尼力(damping force)
- 在電腦控制之下，不論任何的車身重量，彈簧的運動(spring motion)都會被臨界阻尼(critically damped)

$$F = ma = -kx - bv$$

● 我們只想抑壓回復彈簧運動(restoring spring motion) → 需要知道這個運動的時間(time)

- 汽車的垂直速度(vertical velocity) :
 $v = dx / dt$ (x: displacement; t: time interval)
- 當位移回復到0時(x=0) , 阻尼(damping)便停止
- 最大垂直速度(V_{\max}):

$$x = e^{-\gamma t} [x_0 + (v_0 + \gamma x_0) t]$$

put $v_0 = 0$ as the initial velocity equal to zero,

$$\therefore x = x_0 (1 + \gamma t) e^{-\gamma t}$$

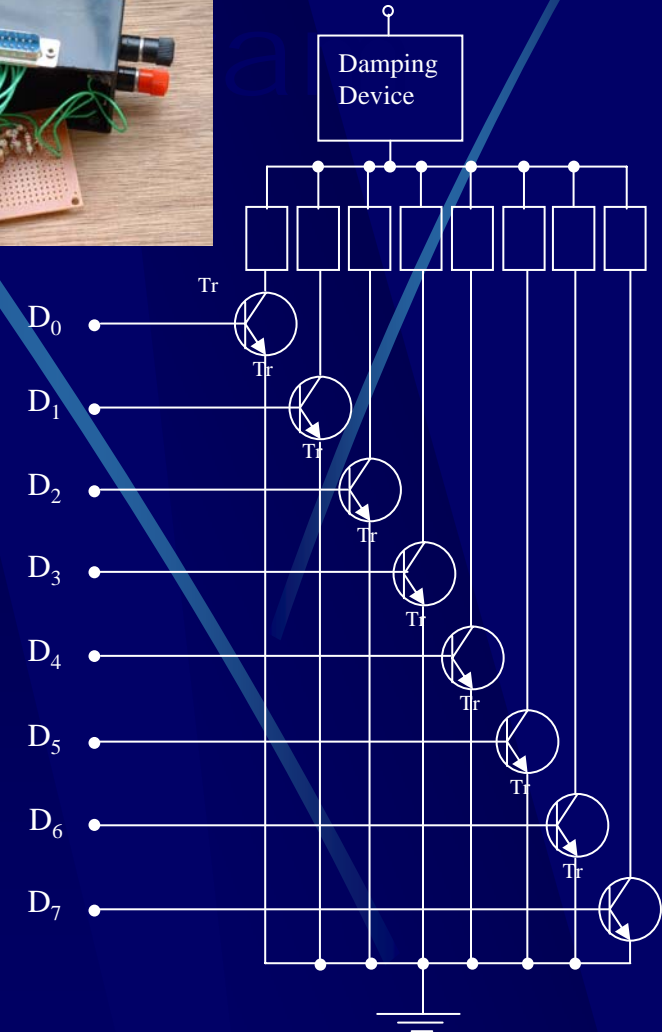
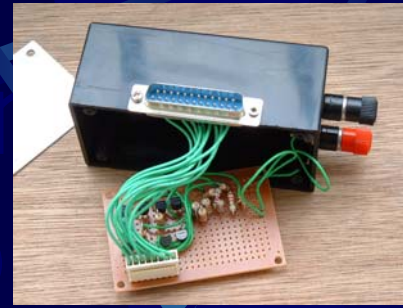
$$\begin{aligned} \rightarrow x' &= -x_0 (1 + \gamma t) \gamma e^{-\gamma t} + x_0 \gamma e^{-\gamma t} \\ &= -x_0 \gamma^2 e^{-\gamma t} t \end{aligned}$$

$$\rightarrow x'' = -x_0 \gamma^2 e^{-\gamma t} (1 - \gamma t)$$

$$\therefore v_{\max} = -x_0 \gamma e^{-1}$$

● 介面(Interface)

- 最大速度(V_{max}) 被分成255個間隔(intervals) → 數據經由電腦的平行埠(parallel port)輸出
- 透過晶體管(transistor)去閉合不同電阻(resistance)的電路(circuit) → 阻尼裝置(damping device)的電流(current) 便可以由電腦控制



控制阻尼裝置(damping device)電流(current)的介面(interface)

● 程式工作步驟

- 比較彈簧原本的長度(initial length)和被壓縮後的長度(compressed length) → 便可得知汽車的重量 $m = kx / g$
- 把阻尼常數(damping constant) b 調較作臨界阻尼(critical damping)
- 從運動偵察器(motion detector)所取得的數據 → 汽車的垂直速度(vertical velocity)
- 計算出臨界阻尼(critical damping)所需的力度(force) → 流過阻尼裝置(damping device)的電流(current)
- 控制介面裝置(interface)所產生出的電阻(resistance) → 使適當電流(current)流過阻尼裝置(damping device)

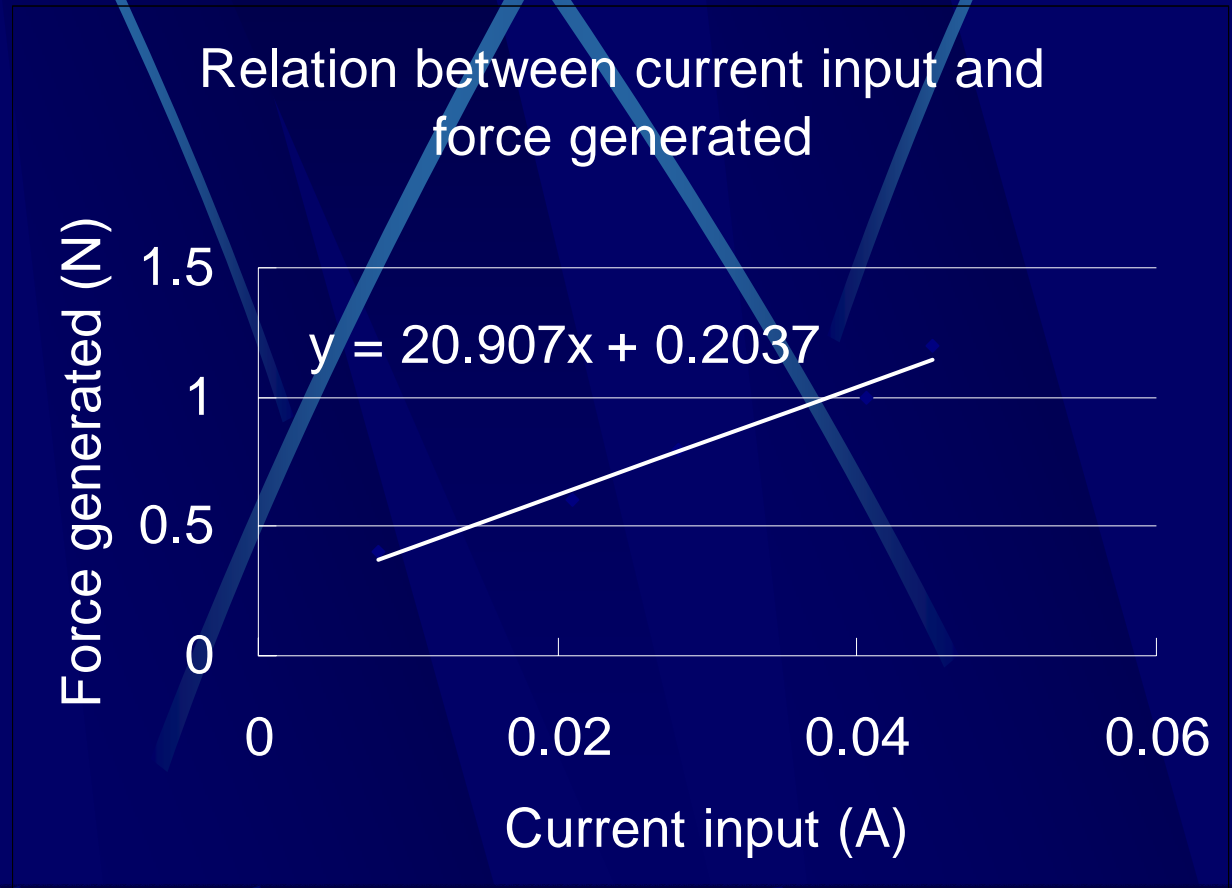
Damping Device



- 整個阻尼裝置(damping device)由一個步進馬達(stepper motor)加上一條鋸齒型的長條組成
 - 鋸齒型長條穿過步進馬達(stepper motor)的軸心
 - 步進馬達(stepper motor)接上直流發電機(d.c. generator)和介面裝置(interface)
- 透過控制流過阻尼裝置(damping)的電流(current) → 改變阻尼力(damping force)

● 實驗證明：輸入馬達(motor)的電流(current)是與其所產出的力(force)是成正比的

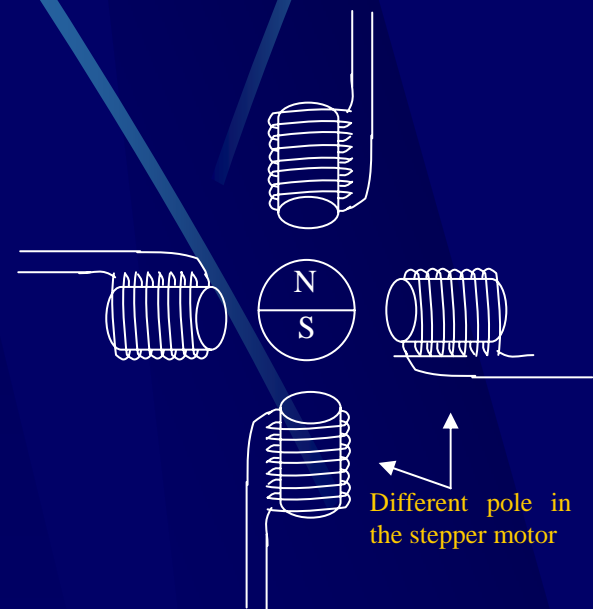
Current input (A)	Force generate by motor (N)
0.008	0.4
0.021	0.6
0.028	0.8
0.041	1.0
0.045	1.2



- 步進馬達(stepper motor)內有4個分開的電磁極(electromagnetic poles) → 並有6條輸入電線(input wires)

- 馬達得到電力(electricity) → 內部的線圈(coil)變成電磁鐵(electromagnets)

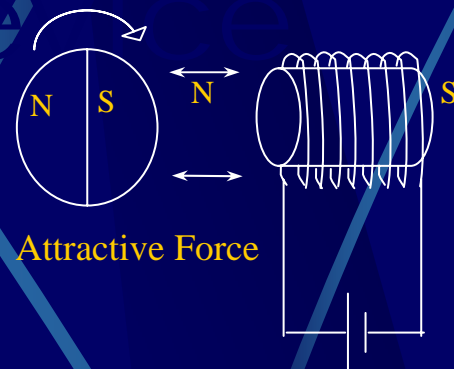
- 流過馬達的電流(current)增加 → 電磁鐵(electromagnets)的強度(strength)增加



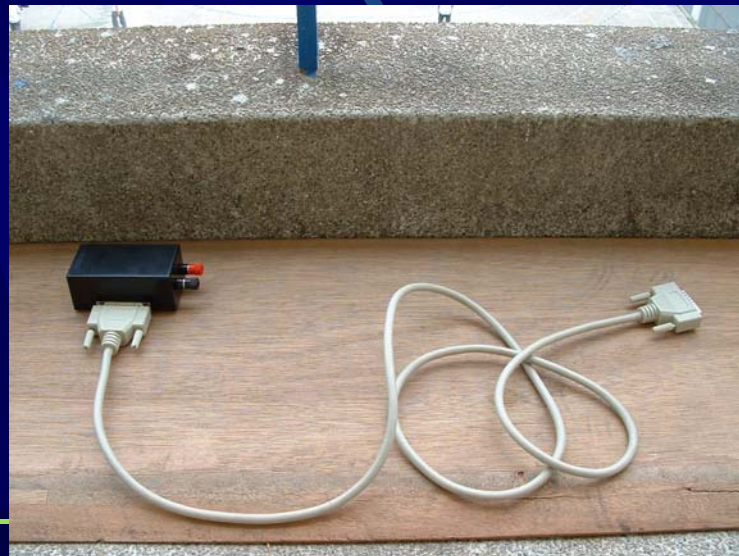
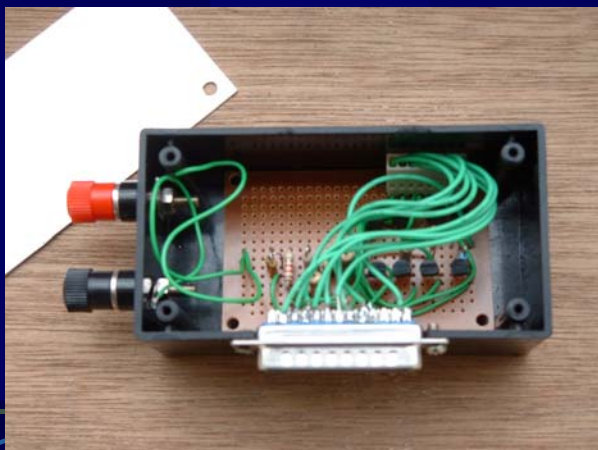
步進馬達(stepper motor)的內部結構

- 線圈(coil)和軸心(axial)間產生一種吸引力，使其難以轉動(rotate)
- 馬達提供的力(force)亦隨之上升

Difficult to rotate



線圈(coil)和軸心(axial)間感生(induce)出一吸引力(attractive force)



Conclusion

- 整個避震系統的震動，將被減至最少
- 透過軟件去控制整個防震程序
 - 適用於任何數值的重量值
 - 避震系統更準確，更穩定